

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
**«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)**

Физический факультет
Кафедра аэрофизики и газовой динамики



Рабочая программа дисциплины

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ
АЭРОФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика. Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения **Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная ра- бота, не включая пе- риод сессии	Самостоятельная подготовка к проме- жуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные за- нятия			Консультации	Зачет	Дифференциро- ванный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	72	28	4		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	4
5. Перечень учебной литературы.	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Физические основы и методы оптической диагностики аэрофизического эксперимента» имеет своей целью: ознакомление с физическими принципами, лежащими в основе оптической диагностики, процессами взаимодействия излучения с веществом, оптическими методами и техникой измерения параметров газовых потоков.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать основные процессы взаимодействия излучения с веществом, особенности и возможности оптических методов, классификацию оптических методов, оборудование и некоторые оптические схемы, используемые при диагностике газовых потоков. Уметь в конкретном случае при подготовке эксперимента выбрать метод измерения, оценить точность получаемого результата, продемонстрировать углубленные знания в области современной оптической диагностики. Владеть представлением о современных методах и приборах для проведения аэродинамического эксперимента.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физические основы и методы оптической диагностики аэрофизического эксперимента» реализуется во втором семестре 1-го курса магистратуры для студентов, обучающихся по направлению подготовки **03.04.02 Физика**. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой аэрофизики и газовой динамики. Курс обеспечивает знание методов подготовки и проведения современного аэрофизического эксперимента. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким дисциплинам как «Физика и химия атомов и молекул», «Электромагнетизм и оптика», «Введение в технику физ. экспериментов» и практикумов («Практикум по физической оптике», «Атомный практикум»). Данный курс необходим для проведения физических исследований по данной тематике, формулировки новых задач, возникающих в ходе научных исследований; выборе технических средств и необходимых методов исследования, подготовке оборудования для работы на экспериментальных аэрофизических установках.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Трудоёмкость дисциплины составляет: 2 зачётные единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 2 семестр – экзамен.

№	Вид деятельности	Семестр
		2
1	Лекции, ч	28
2	Практические занятия, ч	4
3	Лабораторные занятия, ч	-
4	Занятия в контактной форме, ч из них	36
5	аудиторных занятий, ч	32
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	2
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	36
10	Всего, ч	72

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Физические основы и методы диагностики аэрофизического эксперимента» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе магистратуры физического факультета НГУ во 2 семестре. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

Программа и основное содержание лекций (28 часов)

Раздел 1. Изучение основных процессов взаимодействия излучения с веществом. (12 часов)

Введение. Особенности и возможности оптических методов. Классификация оптических методов. **(1 час)**

Основные параметры электромагнитной (оптической) волны. Плоские волны. Гармонические волны. Разложение плоской электромагнитной волны на гармонические волны. Разложение пространственно модулированной монохроматической волны на плоские волны. Интенсивность. Поляризация.

Прохождение оптической волны через слабо ионизированный газ. Система уравнений Максвелла для электромагнитного излучения в веществе. Усредненные (макро-) уравнения Максвелла в среде. Взаимодействие излучения с частично ионизованным газом. Значения показателя преломления среды (n) при различных длинах волн зондирующего излучения. Ход рефракции и коэффициента поглощения вблизи линии поглощения. Диэлектрическая проницаемость свободных заряженных частиц (электронов). **(2 часа)**

Оптические спектры атомов. Анализ спектра испускания. Спектры атомов с одним электроном на верхней подболочке. Правила отбора для одноэлектронных ($n\ell m_s$)-состояний. Спектр водорода. Спектры атомов щелочных металлов. Спектры атомов с двумя и более электронами на верхней подболочке. Спектры атомов с p электронами. Спектры рентгеновского излучения.

Спектры молекул. Колебательная и вращательная структуры энергетических уровней (термов) двухатомных молекул. Оценки величин колебательной и вращательной энергий. Электронные спектры двухатомных молекул. Колебательные и вращательные спектры двухатомных молекул. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул. (2 часа)

Ширина линии излучения атома и молекулы. Оценка параметров взаимодействия. Вероятность испускания и поглощения фотона атомной системой в единицу времени. Уширение спектральных линий, излучаемых атомами и молекулами (время жизни; спектральная мощность излучения атомной системы; доплеровское уширение; естественное уширение; лоренцевское (ударное) уширение; профиль линии и полная вероятность поглощения и вынужденного (индуцированного) излучения). (1 час)

Распространение излучения через вещество. Уравнение баланса для плотности фотонов. Сечение поглощения и вынужденного излучения фотона. Коэффициент поглощения. Спектральная интенсивность собственного излучения плоского слоя возбужденного газа. Оптическая толщина. Измерение концентрации частиц методом регистрации поглощения излучения. Распространение излучения через плоский слой возбужденного газа. Изменение поглощения под влиянием падающего излучения. (1 час)

Термодинамические свойства газовой смеси. Понятие равновесной температуры отдельных степеней свободы газовой смеси. Поступательные степени свободы. Вращательные степени свободы. Колебательные степени свободы. Электронные уровни энергии. Кинетика колебательного обмена энергией. (2 часа)

Рассеяние фотона на атомах. Рассеяние света. Резонансная флуоресценция. Упругое рассеяние. Рассеяние фотонов на молекулах и частицах. Рэлеевское рассеяние. Рассеяние света крупными монодисперсными частицами (Рассеяние Ми). Комбинационное (рамановское) рассеяние света молекулами (чисто вращательный спектр комбинационного рассеяния; колебательно-вращательный спектр комбинационного рассеяния; лазерно-индуцированная флуоресценция (ЛИФ)). (2 часа)

Нелинейная оптика. Двухфотонное поглощение. Вынужденное комбинационное рассеяние. Генерация третьей гармоники и КАРС. (1 час)

Раздел 2. Изучение физических принципов работы разнообразных приемников излучения и ознакомление с современными методами регистрации изображений. (6 часов)

Приемники оптического излучения. Основные характеристики приемников излучения. Глаз как приемник оптического излучения (световая чувствительность; яркостная адаптация; оптика глаза). (2 часа)

Фотоэлектрические приемники на основе внешнего фотоэффекта. Принцип действия приемников. Электровакуумные фотоэлементы, ФЭУ, ЭОП. (2 часа)

Приемники на основе внутреннего фотоэффекта. Принцип действия. Фоторезисторы. Фотоприемники с p-n-переходом (фотогальванический и фотодиодный режимы). Фотодиоды на основе p-i-n-структур. Лавинные фотодиоды. Приборы с зарядовой связью. ПЗС-линейка. ПЗС-матрица. Динамический диапазон. АЦП. (2 часа)

Раздел 3. Изучение основных принципов, лежащих в основе применения лазеров в диагностике потоков. (4 часа)

Источники оптического излучения. Источники непрерывного теплового излучения. Излучение абсолютно черного тела. Излучение нечерных тел. Модели абсолютно черного тела. Лампы накалывания. Термические плазменные излучатели. Светоизлучающие диоды. (2 часа)

Лазеры. Принципы работы и устройство лазера. Поглощение и коэффициенты усиления слабого сигнала. Накачка. Создание инверсной населенности. Пороговые условия. Оптический резонатор. Аксиальные и поперечные моды. Гауссовы пучки. Режимы работы лазеров. Модуляция добротности. Свойства лазерного излучения. (2 часа)

Раздел 4. Изучение принципиальных основ оптических методов диагностики потоков, способов их практической реализации, ознакомление с примерами конкретных схем эксперимента (6 часов)

Теневые и интерференционные методы. Основные принципы, лежащие в основе теневых и интерференционных методов. Интерференция двух монохроматических волн. Двухлучевая интерферометрия в исследовании газовых потоков. Прямотеневой метод (метод светящейся точки). Влияние размеров источника света на качество прямотеневых изображений. О возможности использования интегральных методов для получения количественных данных. **(1 час)**

Лазерный доплеровский анемометр. Принципы лазерной анемометрии. Дифференциальная схема ЛДА. Измерительный объем. Практические схемы ЛДА. **(2 часа)**

Методы диагностики параметров потока в выделенном сечении – метод лазерного ножа. О возможности исследования параметров газового потока в выделенном сечении. Оптические схемы формирования лазерного ножа. Регистрация изображений. Требования к параметрам светорассеивающих частиц. Влияние светорассеивающих частиц на поток. **(2 часа)**

Диагностика поля скоростей в газодинамических течениях. Метод PIV-диагностики. О панорамных измерениях скорости потоков. Основные принципы PIV-диагностики. Примеры реализации PIV-метода. PIV-диагностика в аэрофизическом эксперименте. Экспериментальное оборудование для PIV-диагностики потоков в аэродинамических трубах. **(1 час)**

Программа практических занятий (4 часа)

Занятие 1. Опрос по пройденным темам (основные процессы взаимодействия излучения с веществом, физические принципы работы разнообразных приемников излучения и ознакомление с современными методами регистрации изображений) **(2 часа)**

Занятие 2. Опрос по пройденным темам (изучение основных принципов, лежащих в основе применения лазеров в диагностике потоков, изучение принципиальных основ оптических методов диагностики потоков, способов их практической реализации, ознакомление с примерами конкретных схем эксперимента) **(2 часа)**

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к опросам по материалам лекций	12
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Теоретические основы и методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2008. (5 экз.)
2. Оришич А.М. Физика атомов и молекул. / Учебное пособие. Новосибирск. НГУ 1997. (6 экз.)
3. Ландсберг Г.С. Оптика. М: Наука, 1976. (157 экз.)
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. /М.: "Наука", 1980. 620 с. (1 экз.)
5. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М: Изд-во МГУ, 1998. (3 экз.)
6. Звелто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990., ISBN 5-03001053X, (2 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Теоретические основы и методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2008. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
2. Бойко В. М., Оришич А. М., Павлов А. А., Пикалов В. В. Методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Монография / Новосибирск: НГУ, 2009. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Физические основы и методы диагностики аэрофизических экспериментов» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, промежуточной и итоговой аттестации.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории

(Оптическое диагностическое оборудование на аэродинамических трубах Т-325, Т-324, Т-326, Т-313, АТ-303, на установках ВСУ, УТ-4, газожидкостный стенд).

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опросов по материалам предыдущих лекций.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать основные процессы взаимодействия излучения с веществом, особенности и возможности оптических методов, классификацию оптических методов, оборудование и некоторые оптические схемы, используемые при диагностике газовых потоков.	Опрос по материалам предыдущих лекций, экзамен

ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Уметь в конкретном случае при подготовке эксперимента выбрать метод измерения, оценить точность получаемого результата, демонстрировать углубленные знания в области современной оптической диагностики. Владеть представлением о современных методах и приборах для проведения аэродинамического эксперимента.	Опрос по материалам предыдущих лекций, экзамен
---	---	---

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физические основы и методы диагностики аэрофизических экспериментов».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
Экзамен: – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить не принципиальные неточности.	<i>Отлично</i>
Экзамен: – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	<i>Хорошо</i>

Экзамен: – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, с множественными ошибками, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	Удовлетворительно
Экзамен: – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	Неудовлетворительно

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Вопросы на экзамен

1. Распространение оптического пучка в среде (поглощение, изменение фазы, рефракция, поляризация).
 2. Рассеяние света. Модель элементарного рассеивателя. Рэлеевское рассеяние.
 3. Особенности резонансного взаимодействия излучения с веществом.
 4. Основные параметры оптического излучения. Общие принципы оптической диагностики потоков.
 5. Лазерно индуцированная флуоресценция
 6. Глаз как приемник оптического излучения.
 7. Приемники на основе внешнего фотоэффекта (фотоэлементы, ФЭУ).
 8. Приемники на основе внутреннего фотоэффекта (фотодиоды).
 9. Тепловые источники сплошного спектра. Истинная, яркостная и цветовая температура
 10. Схемы уровней и их заселение в условиях термодинамического равновесия.
 11. Оптические спектры атомов. Анализ спектра испускания. Спектры атомов с одним электроном на верхней подболочке. Правила отбора для одноэлектронных ($n \ell m \ell s$)-состояний. Спектр водорода. Спектры атомов щелочных металлов. Спектры атомов с двумя и более электронами на верхней подболочке.
-
1. Панорамные измерители скорости потоков. Основы методов. PIV и PTV
 2. Лазеры: Физические принципы работы и основные параметры.
 3. Лазерная доплеровская анемометрия. Основы метода.

4. Лазеры: Модовый состав излучения. Аксиальные и поперечные моды. Методы и схемы селекции мод.
5. Лазеры: Модуляция добротности - метод повышения мощности излучения. Рубиновый лазер.
6. Тепловые источники сплошного спектра. Понятие абсолютно черного тела. Спектральное распределение излучения.
7. Общие принципы применения рассеяния света для измерения температуры
8. Теневые и шпирен-методы визуализации течений
9. Лазерная доплеровская анемометрия. ЛДА на фотосмещении.
10. ЛДА с прямым спектральным анализом.
11. Общие принципы применения рассеяния света для измерения скорости и парциальной концентрации

Пример экзаменационного билета

1. Оптические спектры атомов. Анализ спектра испускания. Спектры атомов с одним электроном на верхней подболочке. Правила отбора для одноэлектронных ($n \ell m s$)-состояний. Спектр водорода. Спектры атомов щелочных металлов. Спектры атомов с двумя и более электронами на верхней подболочке. (ПК-1)
2. Глаз как приемник оптического излучения. (ПК-1)
3. Устройство лазера. Модовый состав излучения. Аксиальные и поперечные моды. (ПК-2)

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.